



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Off nlegungsschrift
⑩ DE 44 23 992 A 1

②① Aktenzeich n: P 44 23 992.0
②② Anmeldetag: 7. 7. 94
②③ Offenlegungstag: 9. 2. 95

⑤① Int. Cl.⁶:
H 01 F 13/00
H 01 F 7/20
H 03 K 3/53
H 01 F 30/00
// B21D 26/14

DE 44 23 992 A 1

③⑩ Innere Priorität: ③② ③③ ③①
07.08.93 DE 43 26 548.0

⑦① Anmelder:
Magnet-Physik Dr. Steingroever GmbH, 50996 Köln,
DE

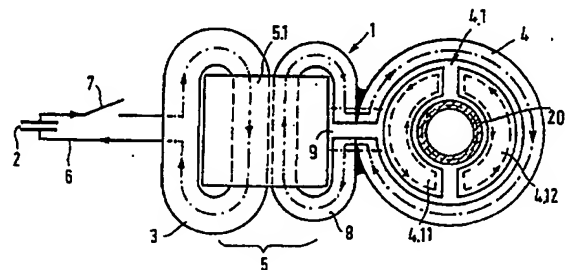
⑦④ Vertreter:
Schwarz, K., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 53115 Bonn

⑦② Erfinder:
Steingroever, Erich, Dr., 53117 Bonn, DE;
Steingroever, Dietrich, 51429 Bergisch Gladbach, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Elektromagnetischer Generator für schnelle Strom- und Magnetfeld-Impulse, beispielsweise zur Anwendung in der magnetischen Umformtechnik

⑤⑦ Derartige bekannte Kondensator-Entladungsgeräte sind wegen der hohen Spannungen, die im Arbeitsbereich an den Magnetfeldspulen auftreten, für den Bedienenden gefährlich und erfordern teure Isolationen der Magnetfeldspulen. Um die Impuls-Generatoren leistungsfähiger und sicherer zu gestalten, sind die Magnetfeldspulen (3) erfindungsgemäß paarweise angeordnete Primärwicklungen eines Impuls-Transformators (5), deren Primärströme auf der Sekundär-Seite des Impuls-Transformators einen einzigen Strom-Impuls erzeugen. Hierdurch wird ein Mehrfaches der Stromstärke und der Geschwindigkeit der Summe der einzelnen Strom-Impulse ohne Vorhandensein eines solchen Impuls-Transformators erreicht. Der Impuls-Transformator (5) besitzt als Sekundär-Spule ein längsgeschlitztes Rohr (8) aus Kupfer oder aus einem anderen elektrisch gut leitenden Werkstoff, auf dem unmittelbar die isolierten Primärwicklungen der Magnetfeldspulen (3) aufgebracht sind. Zum Anschluß einer äußeren nieder-ohmigen Hochstrom-Schleife (4) sind in der Mitte des Rohres (8) neben dem Längsschlitz Kontaktblöcke als Strom-Ausgänge (10.1, 10.2) angebracht. Die Hochstrom-Schleife (4) umschließt einen Magnetfeldkonzentrator (4.1), der ein- oder mehrteilig ausgebildet sein und ein oder mehrere Verformöffnungen (18) aufweisen kann.



DE 44 23 992 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 12. 94 408 066/444

9/33

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen elektr. magnetischen Generator für schnelle Strom- und Magnetfeld-Impulse nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, der insbesondere für eine Anwendung in der magnetischen Umform-
 5 technik geeignet ist.

Bei diesen Anwendungen kommt es darauf an, in dem zu beeinflussenden Gegenstand einen hohen Strom I_2 zu induzieren, der mit dem Magnetfeld B des Stroms I_1 eine hohe Kraft P bezogen auf die Länge l der Stromleiter ergibt. Mit

$$B = \mu_0 \cdot kH \cdot I_1 \quad \text{und} \quad I_2 = kD \cdot \frac{dI_1}{dt} \cdot \frac{1}{R_2}$$

15 worin kH und kD von der Geometrie der Leiter und der Metallteile abhängige Konstanten und R_2 der Widerstand des Pfades des im Metallteil induzierten Stromes sind, ist dann

$$P = B \cdot I_2 \approx I_1 \cdot \frac{dI_1}{dt}$$

25 Ein Kennwert für die durch einen Impuls erzeugte Kraft ist also

$$k = I_1 \cdot \frac{dI_1}{dt}$$

Es ist bekannt, hohe Stromimpulse mit der Entladung von Kondensatoren zu erzeugen. Ihre maximale Amplitude I_{\max} und Steilheit dI/dt sind vor allem durch die Eigenschaften der zur Verfügung stehenden
 35 Hochstrom-Schalter bedingt.

Sehr hohe Werte werden mit Funkenstrecken als Schalter erreicht. Diese sind aber in Betriebsgeräten unerwünscht, vor allem weil sie sich abnutzen.

Als Hochstrom-Schalter stehen weiter Ignitrons und Thyristoren zur Verfügung. Ignitrons haben aber einen großen Platzbedarf und kommen deshalb meistens nicht in Frage. Auch unterliegen sie einer Abnutzung bei
 40 Dauerbetrieb.

Bei Thyristoren als Hochstrom-Schalter sind wiederum die maximale Amplitude I_{\max} und die maximale Stromsteilheit dI/dt begrenzt, so daß auch nur begrenzte Wirkungen der Impulse beim Verformen und bei den übrigen genannten Anwendungen erreicht werden können.

Es ist auch bereits vorgeschlagen worden (DD 1 46 403), gleichzeitig mehrere Magnetfeldspulen nebeneinander anzuordnen, die von mehreren potentialgetrennten, gleichzeitig geschalteten Kondensator-Entladungsgeräten gespeist werden. Dabei werden hohe elektrische Spannungen der Kondensatoren verwendet, um eine
 45 schnelle Entladung zu erreichen.

In die Magnetfeldspulen solcher Stoßstromgeneratoren werden die zu verformenden Teile eingelegt.

Diese bekannten Kondensator-Entladungsgeräte sind wegen der hohen Spannungen, die im Arbeitsbereich an den Magnetfeldspulen auftreten, für den Bediener gefährlich und erfordern teure Isolationen der Magnet-
 50 feldspulen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, elektromagnetische Generatoren der gattungsgemäßen Art leistungsfähiger und sicherer zu gestalten.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung dadurch gelöst, daß die Magnetfeldspulen paarweise angeordnete
 55 Primärwicklungen eines Impuls-Transformators sind und ihre Primärströme auf der Sekundär-Seite des Impuls-Transformators einen einzigen Strom-Impuls erzeugen.

In dem Impuls-Transformator werden die Impulse der einzelnen Entladekreise somit zu einem einzigen Strom-Impuls vereinigt, der ein Mehrfaches der Stromstärke und der Geschwindigkeit der Summe der einzelnen Strom-Impulse ohne Vorhandensein eines solchen Impuls-Transformators erreicht.

Der Impuls-Transformator besitzt als Sekundär-Spule erfindungsgemäß ein längsgeschlitztes Rohr aus Kupfer oder aus einem anderen elektrisch gut leitenden Werkstoff, auf dem unmittelbar voneinander isolierte
 60 Magnetfeldspulen als Primärwicklungen aufgebracht sind. Zum Anschluß einer äußeren nieder-ohmigen Hochstrom-Schleife sind in der Mitte des Rohres neben dem Längsschlitz Kontaktblöcke angeordnet, zum Beispiel angelötet oder aufgeschraubt.

Die Kopplung zwischen den Primär-Spulen und der Sekundärspule des Impuls-Transformators wird durch ein lamelliertes Paket aus Transformator-Bleichen erhöht, das einen größeren Fluß-Hub erlaubt. Durch einen langen
 65 Strom-Impuls in negativer Richtung kann der remanente Fluß B_r im Eisen der Transformator-Bleche umgekehrt werden, so daß ein größerer Fluß-Hub (von $-B_r$ nach B_s statt von $+B_r$ nach B_s im Fluß-Diagramm) und damit

eine höhere Belastung des Transformators möglich ist.

Das Kupfer- oder Aluminiumrohr ist als Sekundär-Spule mit Strom-Ausgängen in der Mitte derart ausgebildet, daß zwei Kammern für die paarweise unterteilten Primärwicklungen bestehen und die Strom-Ausgänge zum Anschluß einer Hochstrom-Schleife auf der Sekundärseite dienen.

In der Hochstrom-Schleife kann ein ein- oder mehrteilig ausgebildeter Magnetfeldkonzentrator angeordnet sein, der vorteilhafterweise aus einem längsgeschlitzten Kupfer- oder Aluminiumzylinder besteht, in dem durch Skin-Effekt das Magnetfeld der Hochstrom-Schleife auf einen Raum mit kleinerem Durchmesser und/oder Länge konzentriert wird.

Besonders vorteilhaft ist es weiterhin, wenn der Magnetfeldkonzentrator aus zwei durch Längsschlitze getrennten Teilen besteht, die nach Bedarf einander angenähert und voneinander entfernt werden können, so daß auch Werkstücke mit größerem Durchmesser an einem Ende für das Verformen umschlossen werden können.

Weitere vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Ansprüchen 7 bis 14 gekennzeichnet.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung schematisch dargestellt. Es zeigen

Fig. 1 einen schematischen senkrechten Schnitt durch einen elektromagnetischen Impuls-Generator mit Impuls-Transformator und einer damit verbundenen sekundärseitigen Hochstrom-Schleife,

Fig. 2 eine perspektivische Ansicht eines derartigen Impuls-Transformators mit Anschlüssen für eine Hochstromschleife,

Fig. 3 einen Impuls-Transformator mit einer angeschlossenen omega-förmigen Hochstrom-Schleife und einem darin angeordneten Magnetfeldkonzentrator, wobei der Stromfluß in der Primär-Spule, im Sekundärstromkreis des Transformators, in der Hochstrom-Schleife und in dem Magnetfeldkonzentrator mit Pfeilen gezeigt ist,

Fig. 4 eine Darstellung der Sekundär-Spule eines derartigen Impuls-Transformators mit daran angeschlossener Hochstrom-Schleife, die von einem Verstärkungs-Block zur Aufnahme der radialen mechanischen Kräfte bei den Magnetfeld-Impulsen umgeben ist,

Fig. 5 die Sekundär-Spule eines Impuls-Transformators mit einem in der Hochstrom-Schleife angeordneten länglichen Magnetfeldkonzentrator mit mehreren achsparallel nebeneinander angeordneten Verformöffnungen,

Fig. 6 eine perspektivische Ansicht eines Kupfer- oder Aluminiumrohres mit Längsschlitz als Sekundär-Spule eines derartigen Impuls-Transformators und mit einer daran angeschlossenen omega-förmigen Hochstrom-Schleife,

Fig. 7 eine Stirnansicht des Kupfer- oder Aluminiumrohres mit voneinander isolierten seitlichen Anschlüssen und Hochstrom-Schleife und

Fig. 8 ein Diagramm der Flußdichte im Eisenkern des Impuls-Transformators mit dem Fluß-Hub $\Delta \Phi_1$ ohne Fluß-Umkehr und $\Delta \Phi_2$ mit Fluß-Umkehr.

Die gezeigten elektromagnetischen Impuls-Generatoren 1 für schnelle Strom- und Magnetfeld-Impulse können insbesondere in der magnetischen Umformtechnik verwendet werden. Sie bestehen aus mehreren Kondensatoren 2 und elektrischen Stromleitern, die als Magnetfeldspulen 3 ausgebildet und mit den Kondensatoren 2 in mehrere Gruppen unterteilt sind, die magnetisch in Reihe geschaltet, nicht aber elektrisch miteinander gekoppelt sind und mit dem Entladestrom der Kondensatoren 2 in einer Hochstromschleife 4 mit einem Magnetfeldkonzentrator 4.1 (Fig. 3, 5 und 7) ein zwei- oder mehrpoliges Magnetfeld erzeugen.

Wie in Fig. 1 bis 3 gezeigt ist, ist zwischen die als Energiespeicher dienenden Gruppen von Kondensatoren 2 und die Hochstrom-Schleife 4 ein Impuls-Transformator 5 geschaltet, der auf einem geschlossenen Eisenkern 5.1 aus einem lamellierten Paket von Transformator-Bleichen mindestens zwei paarweise angeordnete Magnetfeldspulen 3 als Primärwicklungen aufweist.

Bei dem Ausführungsbeispiel von Fig. 1 ist der Stromkreis auf der Primärseite des Impuls-Transformators 5 beispielsweise vier Primär-Teilstromkreise 6 unterteilt, die einzeln mit den die Primärwicklungen des Impuls-Transformators 5 bildenden Magnetfeldspulen 3 verbunden sind. Die einzelnen Primär-Teilstromkreise 6 weisen Dioden 6.1 und Lade-Widerstände 6.2 auf und sind über zwei gemeinsame Potentialleitungen 6.3, 6.4 an eine Gleichrichterschaltung 6.5 zur Stromversorgung angeschlossen. Sie weisen somit gleiche Potentiale auf. Jeder Primär-Teilstromkreis 6 besitzt seinen eigenen Hochstromschalter 7, der maximal belastet werden kann. Die Kapazität jedes Kondensators 2 ist $C/4$, die Spannung U . Die in Reihe geschalteten vier Kondensatoren 2 bilden eine Kapazität $C/16$. Sie liegen an einer Spannung $4U$, so daß jeder Hochstrom-Schalter 7 nur $1/4$ der maximalen Spannung U_{\max} zu schalten hat. Dabei bleibt der maximale Strom I_1 erhalten.

Der Impuls-Transformator 5 besitzt ein elektrisch gut leitendes Rohr 8, zum Beispiel ein Kupfer- oder Aluminiumrohr, mit Längsschlitz 9 als Sekundär-Spule und daraufisolierte Magnetfeldspulen 3 als Primärwicklungen, die mindestens paarweise unterteilt sind (Fig. 6).

Das Kupfer- oder Aluminiumrohr 8 ist, wie die perspektivische Darstellung von Fig. 6 zeigt, als Sekundär-Spule mit zwei Kontaktblöcken als Strom-Ausgänge 10.1 und 10.2 in der Mitte derart ausgebildet, daß zwei Kammern 11, 12 für die paarweise unterteilten Primärwicklungen bestehen. Die Kontaktblöcke für die Strom-Ausgänge 10.1, 10.2 können beiderseits des Längsschlitzes 9 an das Rohr 8 angelötet oder angeschraubt sein und dienen zum Anschluß einer Hochstrom-Schleife 4 auf der Sekundärseite des Transformators 5, in der bei der Entladung der Primär-Stromkreise ein entsprechend dem Windungs-Verhältnis von Primär-Stromkreisen zu Sekundär-Stromkreis erhöhter Stromimpuls mit hohem

$I \cdot dI/dt$

auftritt.

Der Stromverlauf in den verschiedenen Stromkreisen der primärseitigen Magnetfeldspulen 3, der Sekundär-Spule und der Hochstrom-Schleife 4 sowie im Magnetfeldkonzentrator 4.1 ist in Fig. 3 gezeigt. Der Stromverlauf ist entsprechend der Lenz'schen Regel in benachbarten Stromkreisen bis zu einem zu verformenden Metallteil

20 immer gegenläufig.

Die Kopplung zwischen den Primär- und den Sekundär-Spulen oder -Wicklungen des Impuls-Transformators 5, nämlich zwischen den Magnetfeldspulen 3 und dem geschlitzten Rohr 8, wird durch das lamellierte Paket von Transformator-Blechen des Eisenkerns 5.1 erhöht, das einen größeren Fluß-Hub erlaubt, wie im Fluß-Diagramm von Fig. 8 gezeigt ist. Durch einen langen Strom-Impuls in negativer Richtung kann der remanente Fluß Br im Eisen der Transformator-Bleche umgekehrt werden, so daß ein größerer Fluß-Hub (von - Br nach Bs statt von + Br nach Bs im Fluß-Diagramm) und damit eine höhere Belastung des Impuls-Transformators 5 möglich ist.

Das Diagramm der Flußdichte im Eisenkern 5.1 des Impuls-Transformators 5 von Fig. 8 zeigt einerseits den Fluß-Hub $\Delta\Phi_1$ ohne Fluß-Umkehr und andererseits den Fluß-Hub $\Delta\Phi_2$ mit Fluß-Umkehr. Bs ist die Flußdichte bei Sättigung des Eisenkerns 5.1, während + Br und - Br seine Remanenzen sind.

Mit dem Magnetfeldkonzentrator 4.1 in der Hochstrom-Schleife 4 kann die Flußdichte B, die auf die zu verformenden Metallteile 20 wirkt, weiter erhöht werden. Dieser besteht aus einem längsgeschlitzten Kupfer- oder Aluminiumzylinder, in dem durch Skin-Effekt das Magnetfeld der Magnetfeldspulen 3 auf einen Raum mit kleinerem Durchmesser und/oder Länge konzentriert wird.

Bei dem Ausführungsbeispiel von Fig. 4 ist der Magnetfeldkonzentrator 4.1 von einem Verstärkungs-Block 16 aus Eisen oder aus einem nichtmagnetischen oder nichtmetallischen Werkstoff zur Aufnahme der radialen mechanischen Kräfte bei den Magnetfeld-Impulsen umgeben. Bei der Ausführung aus Eisen oder einer Eisenlegierung dient der Verstärkungs-Block 16 auch als magnetischer Rückschluß.

Die Hochstrom-Schleife 4 auf der Sekundärseite des Impuls-Transformators 5 ist bei allen gezeigten Ausführungsformen omega-förmig ausgebildet und umschließt bei dem Ausführungsbeispiel von Fig. 5 einen Magnetfeldkonzentrator 4.1 von einer länglichen ovalen Form mit drei achsparallel nebeneinander angeordneten Verformöffnungen 18.

Bei den Ausführungsbeispielen von Fig. 3, 5 und 7 besteht der Magnetfeldkonzentrator 4.1 aus zwei durch Längsschlitze 9 getrennten Teilen 4.11 und 4.12, die nach Bedarf einander angenähert und voneinander entfernt werden können.

Jede Gruppe von Kondensatoren 2 und primärseitige Magnetfeldspulen 3 oder Primär-Spulen besitzt einen eigenen Hochstrom-Schalter 7. Die Hochstrom-Schalter 7, Thyristoren, Transistoren oder Ignitrons, der einzelnen Gruppen werden gleichzeitig geschaltet.

Der elektromagnetische Impuls-Generator 1 kann vorteilhaft zum Verformen von elektrisch leitenden Gegenständen, wie Verschlüsse von Behältern, Verbindungsmuffen oder Fittings an Rohren und Schläuchen, verwendet werden, ebenso aber auch zum Verschließen von Behälterdeckeln nach der deutschen Patentanmeldung P 43 07 708.0.

Bezugszeichenliste

- 1 Impuls-Generator
- 2 Kondensator
- 3 Magnetfeldspule (Primärwicklung)
- 4 Hochstrom-Schleife
- 4.1 Magnetfeldkonzentrator
- 4.11 Teil des Magnetfeldkonzentrators 4.1
- 4.12 Teil des Magnetfeldkonzentrators 4.1
- 5 Impuls-Transformator
- 5.1 Eisenkern
- 6 Primär-Teilstromkreise
- 6.1 Dioden
- 6.2 Lade-Widerstände
- 6.1 Potentialleitung
- 6.2 Potentialleitung
- 6.3 Gleichrichterschaltung
- 7 Hochstrom-Schalter
- 8 Rohr (Sekundär-Spule)
- 9 Längsschlitz
- 10.1 Strom-Ausgang
- 10.2 Strom-Ausgang
- 11 Kammer
- 12 Kammer
- 16 Verstärkungs-Block
- 18 Verformöffnung
- 20 Metallteil

Patentansprüche

1. Elektromagnetischer Generator für schnelle Strom- und Magnetfeld-Impulse, mit Kondensatoren und elektrischen Stromleitern, die als Magnetfeldspulen ausgebildet und mit den Kondensatoren in mehrere Gruppen unterteilt sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Magnetfeldspulen (3) paarweise angeordnete Primärwicklungen eines Impuls-Transformators (5) sind und ihre Primärströme auf der Sekundär-Seite des Impuls-Transformators (5) einen einzigen Strom-Impuls erzeugen.

2. Elektromagnetischer Generator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Impuls-Transformator (5) ein elektrisch gut leitendes Rohr (8), zum Beispiel ein Kupfer- oder Aluminiumrohr, mit Längsschlitz (9) als Sekundär-Spule aufweist und darauf isolierte Magnetfeldspulen (3) als Primärwicklungen besitzt.
3. Elektromagnetischer Generator nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Kupfer- oder Aluminiumrohr (8) als Sekundär-Spule mit Strom-Ausgängen (10.1, 10.2) in der Mitte derart ausgebildet ist, daß zwei Kammern (11, 12) für paarweise unterteilte Primärwicklungen bestehen und die Strom-Ausgänge (10.1, 10.2) zum Anschluß einer Hochstrom-Schleife (4) auf der Sekundärseite dienen. 5
4. Elektromagnetischer Generator nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß in der Hochstrom-Schleife (4) ein ein- oder mehrteilig ausgebildeter Magnetfeldkonzentrator (4.1) angeordnet ist.
5. Elektromagnetischer Generator nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Magnetfeldkonzentrator (4.1) aus einem längsgeschlitzten Kupfer- oder Aluminiumzylinder besteht, in dem durch Skin-Effekt das Magnetfeld der Hochstrom-Schleife (4) auf einen Raum mit kleinerem Durchmesser und/oder Länge konzentriert wird. 10
6. Elektromagnetischer Generator nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Magnetfeldkonzentrator (4.1) aus zwei durch Längsschlitze getrennten Teilen (4.11, 4.12) besteht, die nach Bedarf einander angenähert und voneinander entfernt werden können. 15
7. Elektromagnetischer Generator nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Hochstrom-Schleife (4) von einem Verstärkungs-Block (16) aus Eisen oder aus einem nichtmetallischen Werkstoff zur Aufnahme der radialen mechanischen Kräfte bei den Magnetfeld-Impulsen umgeben ist.
8. Elektromagnetischer Generator nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Hochstrom-Schleife (4) omega-förmig ausgebildet ist. 20
9. Elektromagnetischer Generator nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Hochstrom-Schleife (4) länglich ausgebildet ist und einen Magnetfeldkonzentrator (4.1) umschließt, der mindestens zwei achsparallel nebeneinander angeordnete Verformöffnungen (18) aufweist.
10. Elektromagnetischer Generator nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß jede Gruppe von Kondensatoren (2) und primärseitigen Magnetfeldspulen (3) einen eigenen Hochstrom-Schalter (7) besitzt. 25
11. Elektromagnetischer Generator nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Hochstrom-Schalter (7) der einzelnen Gruppen gleichzeitig geschaltet werden.
12. Elektromagnetischer Generator nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Hochstrom-Schalter (7) Thyristoren, Transistoren oder Ignitrons sind. 30
13. Elektromagnetischer Generator nach einem der Ansprüche 1 bis 12, gekennzeichnet durch die Verwendung zum Erzeugen von Strom- und Magnetfeld-Impulsen von hoher Steilheit dI/dt bzw. dB/dt .
14. Elektromagnetischer Generator nach einem der Ansprüche 1 bis 12, gekennzeichnet durch die Verwendung zum Verformen von elektrisch leitenden Gegenständen, wie Verschlüsse von Behältern, Verbindungsmuffen oder Fittings an Rohren und Schläuchen. 35

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

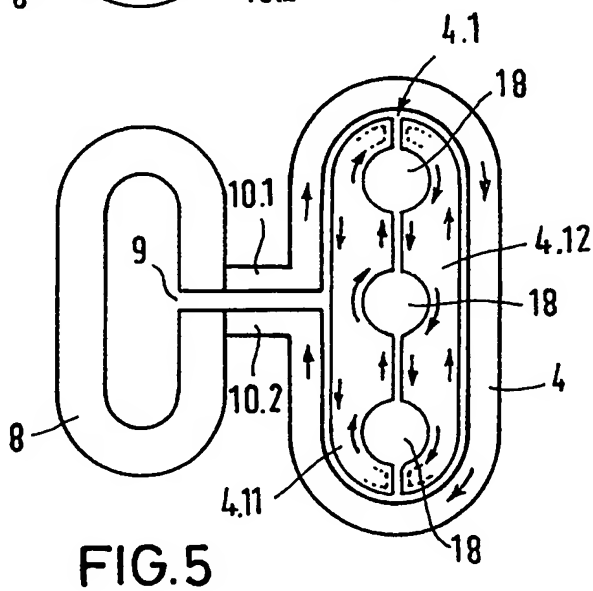
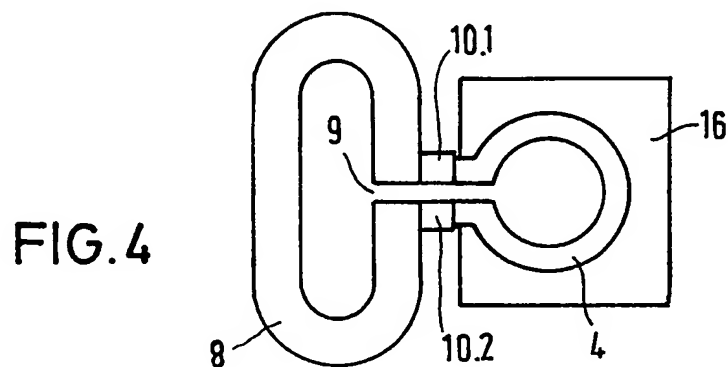
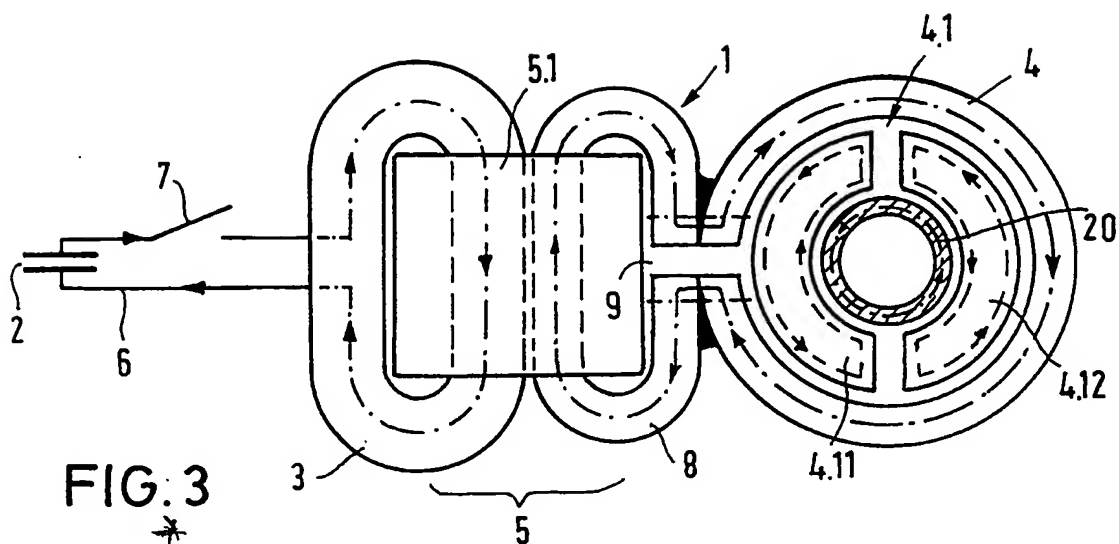


FIG. 1

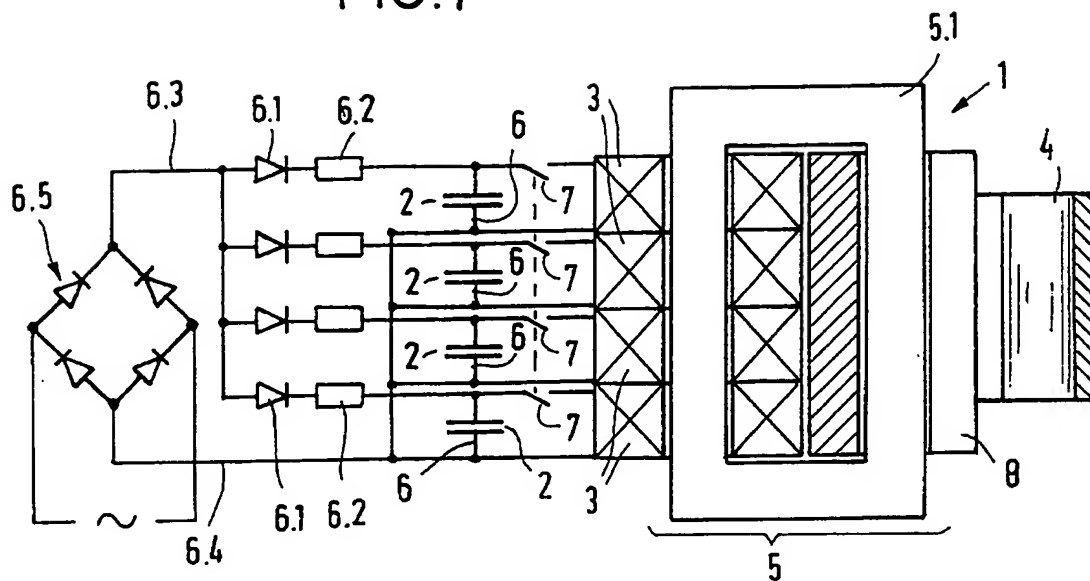
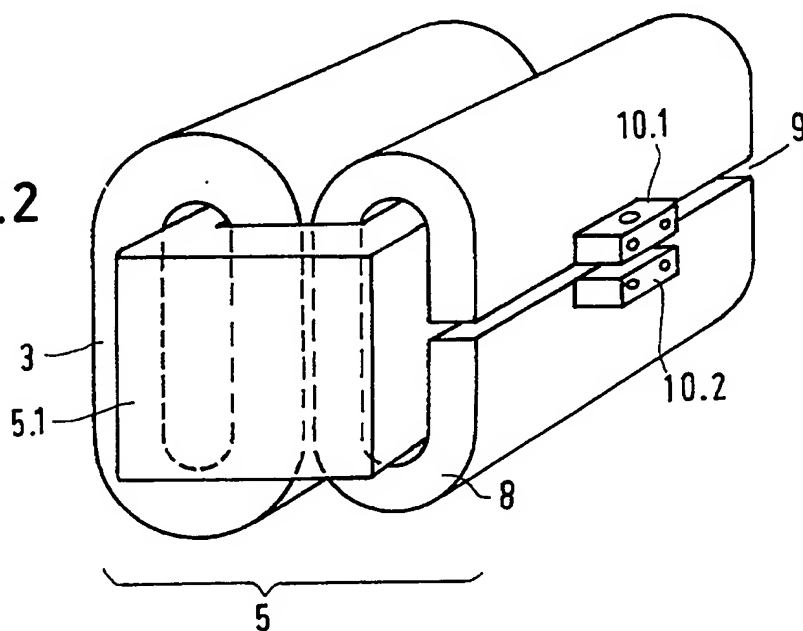
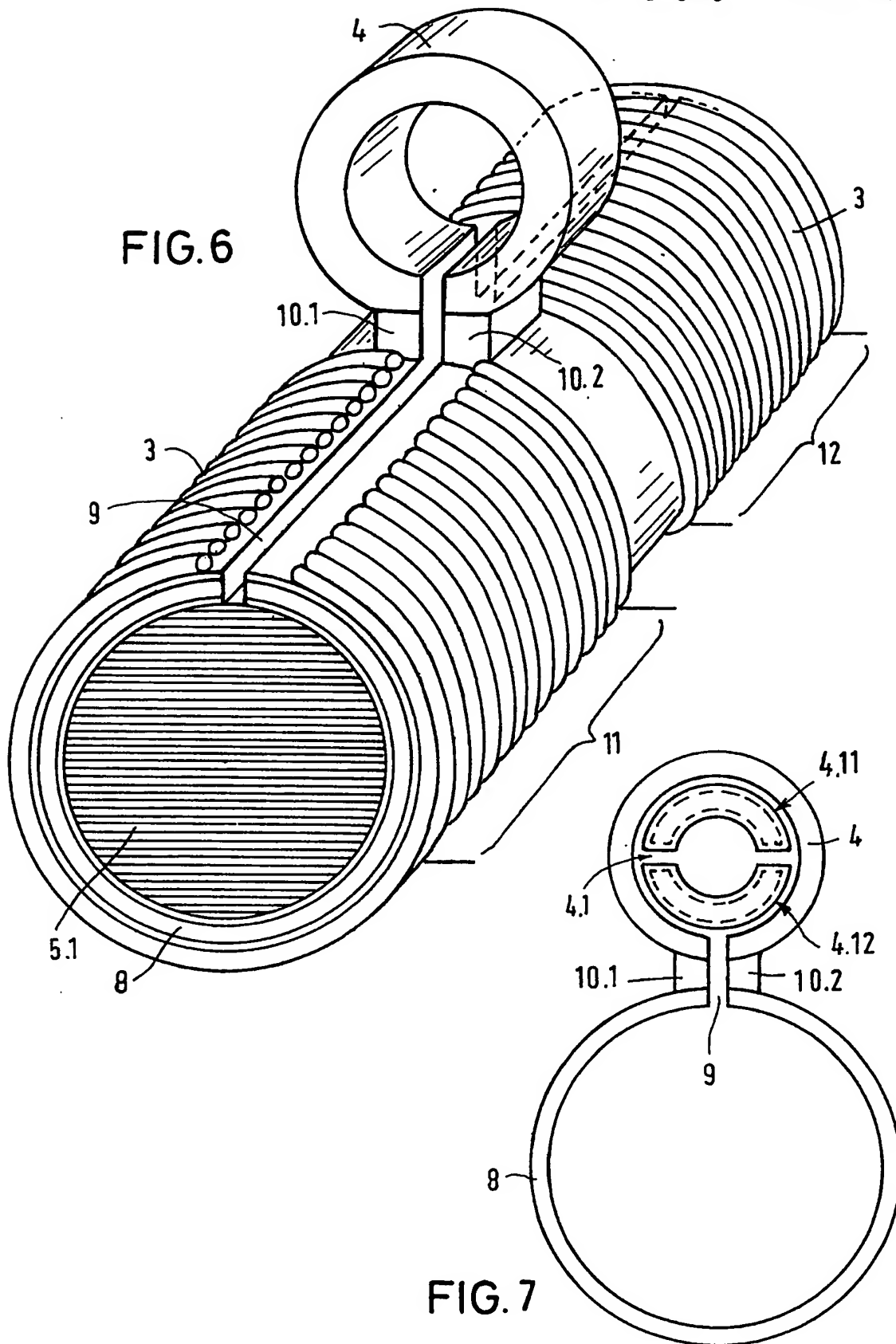


FIG.2





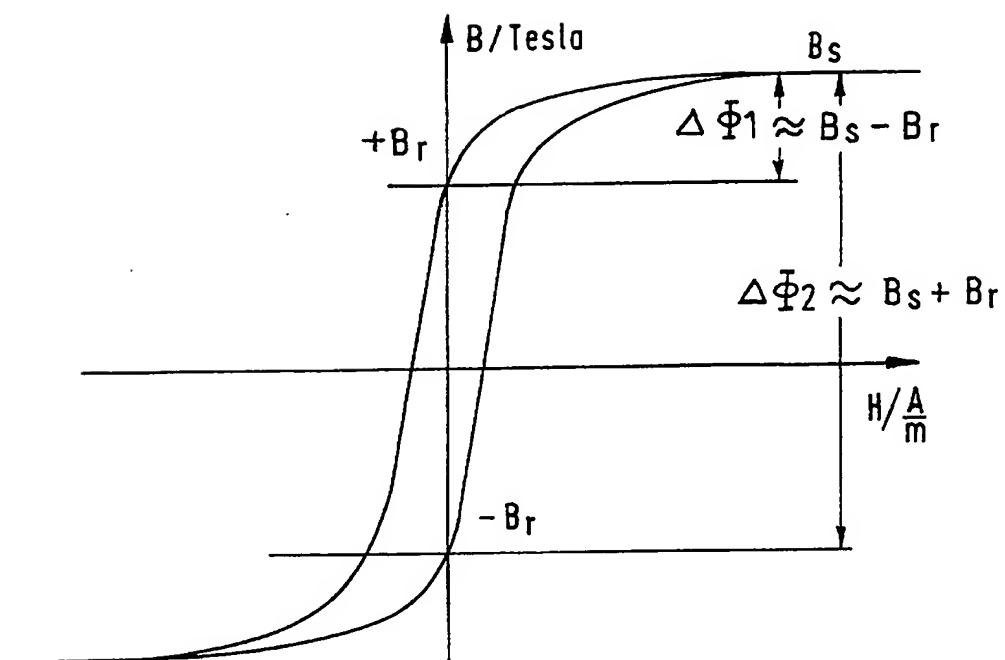


FIG.8